

RIM法を用いた2次元止水矢板浸透模型実験によるパイピング進展過程の流体の観測

名城大学大学院 学生会員 ○夏目 将嗣
名城大学 正会員 岡本 隆明
名城大学 正会員 小高 猛司

1. はじめに

近年、河川構造物において、地盤と構造物や地層境界等における透水性のギャップに起因して発生するパイピング現象が懸念されている。本研究では、止水矢板と地盤材料との境界に発生するパイピング現象を観測するために2次元止水矢板浸透模型実験を行う。止水矢板周辺における浸透破壊についてはこれまで様々な知見が得られている(例えば1),2)。しかし、パイピング現象のトリガーとなる水みちの発生初期段階やその後水みちが拡大し、地盤を侵食する過程における地盤の挙動ならびに地盤内部の流体の挙動は明らかになっていない。本報では、2種類のトレーサーを使用したRIM法によって地盤内部を可視化した2次元止水矢板浸透模型実験を行い、パイピング現象を引き起こす水みちの発生・進展過程における流体の観測を行う。

2. 2次元止水矢板浸透模型実験

2.1 RIM法の概要

RIM (Refractive index matching) 法とは、対象物の屈折率と対象物を流れる流体の屈折率を近づけることで、本来直接見ることのできない地盤内部を可視光断面のもとで観測可能とする手法である。本研究では、RIM法を用いるために地盤材料に粒状の石英ガラス(以下、石英と記す)、間隙流体にヨウ化ナトリウム溶液を使用して実験を行う。

2.2 実験概要

RIM法を用いて模型地盤を作製し、止水矢板周辺で発生するパイピング現象を観察するために2次元模型浸透実験を行った。図1に実験装置の諸元、表1に地盤の諸元を示す。止水矢板の右側を上流、左側を下流とする。上下流ともに水位を地表面から30mmで保った状態を初期状態とし、その後、上流側の水位を20秒間で55mmの割合で上昇させ、パイピングが発生してから地盤の変状が停止するまで観察を行った。パイピング現象における地盤の変形とそれに伴う流体挙動を視覚的に明らかにするために2種類のトレーサーを用いた2ケースの実験を行った。Case1では、着色した石英粒子をトレーサーとして用い、Case2では、地盤内に存在する微小な気泡をトレーサーとして用いて実験を行った。

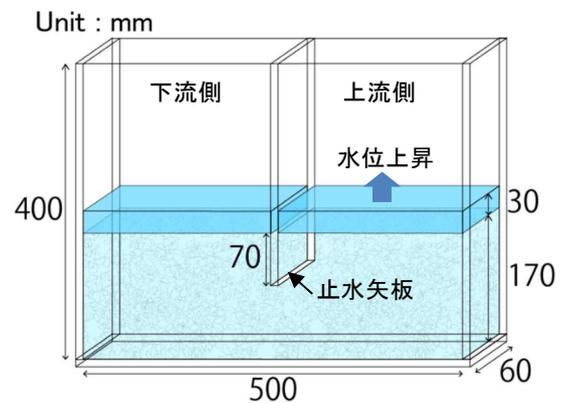


図1 模型諸元

表1 地盤諸元

地盤材料	間隙率	透水係数(m/s)
石英(0.75~2.0mm)	0.7	1.39×10^{-3}

し、その後、上流側の水位を20秒間で55mmの割合で上昇させ、パイピングが発生してから地盤の変状が停止するまで観察を行った。パイピング現象における地盤の変形とそれに伴う流体挙動を視覚的に明らかにするために2種類のトレーサーを用いた2ケースの実験を行った。Case1では、着色した石英粒子をトレーサーとして用い、Case2では、地盤内に存在する微小な気泡をトレーサーとして用いて実験を行った。

2.3 実験結果

Case1, Case2 どちらの実験においても、上下流の水位差が大きくなると徐々に下流側の地盤に微小な変形が生じる。その後も水位を上昇させると上流側の地盤が下流側へと吸い出され、最終的に激しいパイピングが発生する。この一連の現象に対して、上下流の水位差が30mmに達してから地盤が変状し始めるまでをPhase1、上流側に配置した粒子が下流側へ流され始めるまでをPhase2、水位差が55mmに達し、激しいパイピングに至るまでをPhase3と定義して観察を行った。

3. 画像解析

模型実験で取得した動画に対し、画像処理ソフトImageJを用いて画像解析を行った。1/60sごとに粒子の

位置をプロットすることで水位上昇に伴う止水矢板周辺で発生するパイピング現象における各 Phase でのトレーサーの軌跡と移動速度を特定する。

3.1 Case1 の結果

Case1 の画像解析によって得られた各 Phase における粒子の軌跡と粒子の移動速度を図 2, 図 3, 表 2 に示す。Phase1 では, 地表面から深さ約 50~60mm の下流側止水矢板近傍で粒子が鉛直上向きに動き始め, 地盤が微量に変形し始める。粒子が動き始めるこの位置を起点に水みちが発生していると考えられる。Phase2 では, 発生した水みちが上流側へと徐々に拡大することで Phase1 よりも速い粒子の移動が見られる。Phase3 では, 下流側で発生・拡大した水みちが上流側へ完全に連通した状態における粒子の移動速度を示しており, 粒子が矢板の真下を通過する点において最も速度が大きくなることを示している。

3.2 Case2 の結果

Case2 では, 写真 1 で示すように地盤内の気泡をトレーサーとして用いるために模型装置の下部からレーザーを照射させて実験を行った。水みち拡大過程における Phase2 内を 3 区間に分けて気泡の追跡を行うことで水みち内の流体挙動を観測した。追跡を行った 3 区間では, Phase2-1 から Phase2-3 にかけて上流側の水位が高くなっている。Case2 の実験で得られた Phase2 内における流体のベクトル図と流速を図 5, 表 3 に示す。ベクトル図より, 地表面から約 30~60mm の矢板近傍に大きな流速が集中していることがわかる。また, Phase2 内の 3 区間においても最も大きな流速が生じる点が異なることから, 水みち内の流速は均一でなく, 水みちが上流側へ拡大するのに伴い最も流速が大きくなる位置が矢板端部に遷移していくことを示している。

4. まとめ

本報では, RIM 法を用いた 2 次元止水矢板浸透模型実験によって, 上下流の水位差によって止水矢板周辺で発生するパイピング現象の観測を行った。着色粒子をトレーサーとして用いた実験では, 下流側の微量な地盤変形によって水みちが発生し, その点を起点とし水みちが上流側へと拡大・進展し, 最終的にパイピング現象に至ることを示した。気泡をトレーサーとして用いた実験では, 水みちが拡大する Phase2 における流体挙動を明らかにし, 水位上昇に伴い流速が大きくなる位置が徐々に上流側へと遷移しながら水みちが進展していくことを示した。

参考文献: 1) 小高ら: 矢板に支持された飽和砂質地盤の浸透破壊および掘削安定解析, 土木学会論文集 No.596, III-43, 143-152, 1988.
2) 田中ら: 二次元矢板締切り地盤の浸透破壊における PIV 解析と地盤形状の変化, 地盤工学会誌, 64(2), 18-21, 2016.

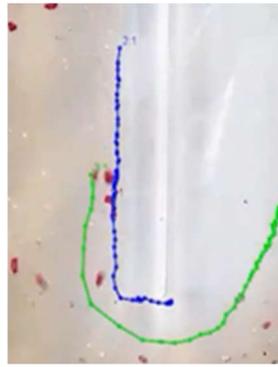


図 2 各 Phase における粒子の軌跡

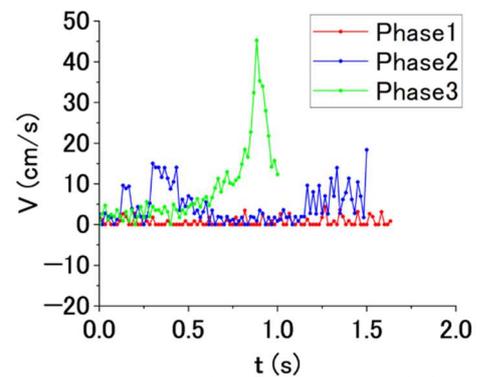


図 3 各 Phase における流速

表 2 各 Phase における平均流速と最大流速

	平均流速[cm/s]	最大流速[cm/s]
Phase1	0.66	4.37
Phase2	4.54	18.36
Phase3	8.78	45.28

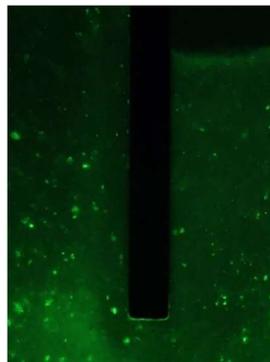


写真 1 Case2 の実験の様子

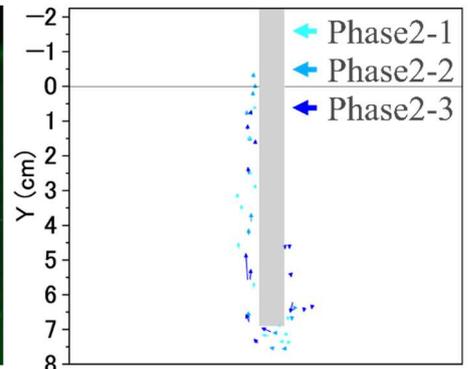


図 5 Phase2 における 3 区間の流速ベクトル図

表 3 Phase2 における 3 区間の最大流速

	最大流速[cm/s]
Phase2-1	8.45
Phase2-2	13.14
Phase2-3	43.75